

для удаления из водно-солевых растворов растворенных газов. С помощью системы контроля проходящего и отражающего через жидкость лазерного излучения с длинами волн $\lambda = 470$ нм. и $\lambda = 602$ нм., было исследовано поведение водно-солевых растворов под воздействием импульсного акустического излучения. Показано, что при импульсном акустическом воздействии жидкость меняет свою прозрачность, что позволило нам судить о содержании в жидкости растворенных газов.

Список литературы: 1. Юферов В.Б., Холод Ю.В., Муфель Е.В., Шулаев В.М. Дегазация закалочн-охлаждающих водоподобных сред звуковыми импульсами // ОТТОМ-2, Сборник докладов. Сентябрь 10-14. – 2001. – Часть 1. – С. 126-129. 2. Юферов В.Б., Холод Ю.В., Рыбалко А.Н., Муфель Е.В., Малец В.Ф., Озеров А.Н., Слюсарь В.П. О возможности вывода солей из растворов под воздействием акустических волн // ВАНТ Сер.: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (82). – 2002. – № 6. – С. 149-151. 3. Юферов В.Б., Пономарев А.Н., Муфель Е.В., Озеров А.Н., Буравиллов И.В., Ищенко В.Н. О динамике очистки жидкости акустическими импульсами. // ВАНТ. – 2007. – № 4. – С. 171-172. 4. Сиротюк М.Г. Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации // Мощные ультразвуковые поля / Под ред. Л.Д.Розенберга. – М.: Наука, 1968. – С. 167-220. 5. Емец Б.Г. О влиянии электромагнитных волн оптического диапазона на жидкости // Вісник Харківського національного університету. – № 513. – Радіофізика та електроніка. – 2001. – Вип. 1. – С. 74-80. 6. Емец Б.Г. Эффекты взаимодействия низкоинтенсивных электромагнитных волн с наноразмерными газовыми включениями в жидких средах. Автореферат докторской диссертации. – Харьков. 2004. 7. Казанцев В.Ф. Движение газовых пузырьков в жидкости под действием сил Бьеркнеса, возникающих в акустическом поле // ДАН СССР. – 1959. – Т. 129. № 1. – С. 64-67.

Поступила в редакцию 06.04.2011

УДК 621.52: 533.5

В. Б. ЮФЕРОВ, д-р техн. наук, ННЦ ХФТИ, Харьков;
Д. В. ВИННИКОВ, мл. науч. сотр., ННЦ ХФТИ, Харьков;
И. В. БУРАВИЛОВ, мл. науч. сотр., ННЦ ХФТИ, Харьков;
А. Н. ПОНОМАРЕВ, мл. науч. сотр., ННЦ ХФТИ, Харьков;
Е. В. МУФЕЛЬ, мл. науч. сотр., ННЦ ХФТИ, Харьков;
А. Ю. ПАХОМОВ, специалист, НТУ «ХПИ»;
В. В. ГАРБУЗ, специалист, НТУ «ХПИ»;
К. И. ЖИВАНКОВ, бакалавр, НТУ «ХПИ»

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБЕЗГАЖИВАНИЯ ВАКУУМИРУЕМЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Досліджено процеси, що тривають у рідині, під впливом електричного розряду пробою в умовах зниженого тиску. Розглядається ступень знегаження розчинів, що знаходяться у рідкому стані. Змінні параметри – енерговклад, температура рідини, насиченість розчину.

The processes that occur in liquids during electric discharge under low pressure have been investigated. The degree of degassing the liquid state solutions has been considered. The variable parameters are the following the energy input liquid temperature, solution saturation.

Постановка задачи. Ранее [1-3, 5] описаны эксперименты по дегазации воды с помощью акустических импульсов миллисекундного диапазона с энергией в импульсе до 100 Дж. Представляет интерес определение газовыделения при использовании электрогидроимпульсного источника (ЭГИ) на основе установки «ГИДРА» со следующими параметрами $C = 2 \text{ мФ}$, $U = 30 \text{ кВ}$, $f = 10 \text{ Нз}$, работающего в микросекундном диапазоне с энерговыделением до 625 Дж/имп. Сравнение двух видов импульсов было проведено в работе [9] см. таблицу, некоторые из характерных параметров, такие как, например, ударные волны, количество газа вводимого в воду, казалось бы, могут существенно влиять на уровень газовыделения. Как видно из таблицы, электрогидравлика обладает практически всеми свойствами характерными для акустических импульсов миллисекундного диапазона. ЭГИ, благодаря наличию явлений сопровождающих электропробой жидкостей, а также на три порядка меньшим длительностям импульсов, обладает рядом дополнительных свойств, оказывающих влияние на обрабатываемую среду. В ходе проведенных работ, было установлено, как те или иные параметры двух типов источников влияют на процессы газовыделения.

Экспериментальная часть. Камера из нержавеющей стали объемом 60 л, со стенками толщиной 5 мм, заполнялась жидкостью рис. 1. Смотровые окна, выполнены из оргстекла толщиной 20мм. Система электродов игла-полусфера из латуни. Энергия импульса, составляла от 250 Дж до 625 Дж.

Физический процесс	μс имп.	мс имп.
Временной диапазон работы источника	мкс	мс
Ударные волны	+	–
Электромагнитные поля	+	–
Термические поля	+	–
Образование парогазового пузыря	+	–
Образование дополнительных веществ и примесей в результате химических реакций	+	–
Мощные гидротоки	+	+
Кавитация	+	+
Широкий спектр акустических частот	+	+
Внесение большого объема дополнительного газа	–	+

В поисках путей повышения дегазации жидкости, было принято решение применить метод вакуумной откачки объема, который ранее не применялся в экспериментах на основе электрогидравлики. Вакуумирование объема камеры осуществлялось до величины 80 mm Hg.

С точки зрения пересыщенных по газу жидкостей, здесь некой аналогией может являться камера Вильсона, с той разницей, что в ней за счет «пересыщения и последующего роста капель на заряженных и не заряженных центрах» в газе визуализируются треки быстрых частиц [4]. В нашем случае ви-

зуализируется область роста пузырьков-зародышей новой фазы после прохождения акустических волн в жидкости.



Рисунок 1

Диагностика включала: пьезоакустический датчик, регистрирующий звуковые и механические изменения в окружающей среде. Систему контроля прозрачности жидкости на основе милливатного лазера с $\lambda = 532$ нм, и фотодиода с системой регистрации, для установления момента начала падения интенсивности сигнала лазера. Как известно, принцип Релеевского рассеяния, отражения и поглощения волн от структур близких к ним по размерам, на основе которого осуществлялась диагностика зарождения, роста и распада пузырьков, позволяет регистрировать размер зародышей от $\lambda/10$ до величины равной λ в процессе отражения.

На рис. 2 показаны: 1 – сигнал с фотодиода, соответствующий времени жизни токового канала и его свечению и следующий за ней акустический сигнал – 2, зарегистрированный пьезодатчиком.

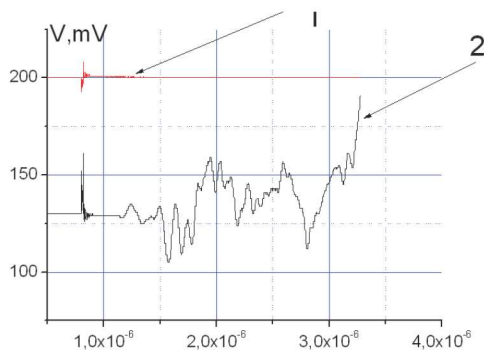


Рисунок 2

Как видно из рис.2 время протекания тока составляет около 100 наносекунд. Мощные ударные волны и кавитация, следующие после разряда приводят к зарождению газовых пузырей размером менее $\lambda/10$ и дальнейшему их

росту.

На рис. 3 представлены полученные кривые прозрачности жидкости, которые характеризуют процессы зарождения и роста пузырей. Кривые получены при различных температурах. Условия эксперимента: температуры 3 °С, 15 °С, 55 °С, давление в камере ~120 mm Hg, количество воды 25 л, энергозвлад 625 Дж/имп. На рисунке показаны первый и 9 импульсы. Длительность сигналов лежит на уровне 5-15 сек. в зависимости от температуры воды и определяется полным или частичным непрохождением света через объем жидкости заполненный газоприемными зародышами, которые являются центрами рассеяния и отражения волн.

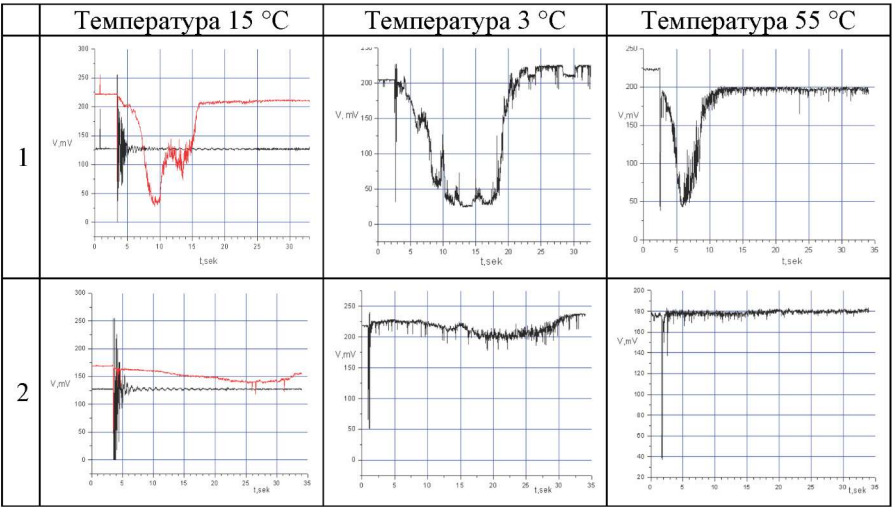


Рисунок 3

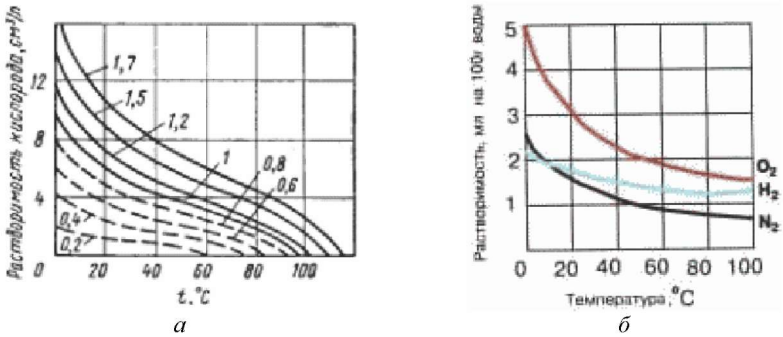


Рисунок 4

Как видно из рисунка В горячей воде находящейся под вакуумной откачкой изначально запасено меньшее количество газа, поэтому уже при первых

импульсах интегральные величины содержания газа в жидкости меньше в 3-3,5 раза. То есть разница температур 50°C , сама по себе дает уменьшение газосодержания по сравнению с начальным уровнем как минимум в 3 раза, см. кривые растворимости кислорода воздуха в воде от температуры, рис. 4. (выбраны кривые растворимости кислорода так как растворимость кислорода в воде выше чем у азота [10].

На рис. 4 представлены: *а* – Зависимость растворимости кислорода воздуха в воде от температуры. Цифры на кривых – давление, ат. *б* – зависимость растворимости газов – кислорода, азота и водорода в воде от температуры, при атмосферном давлении.

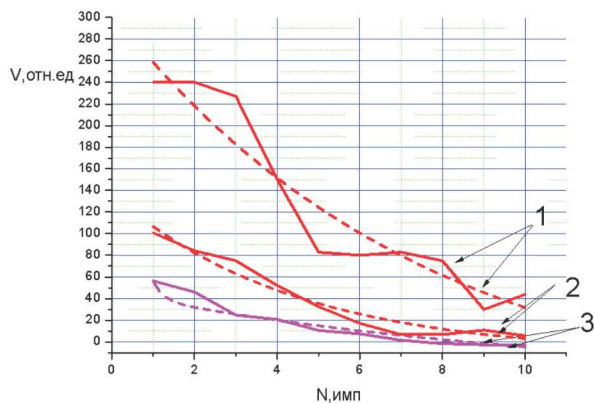


Рисунок 5

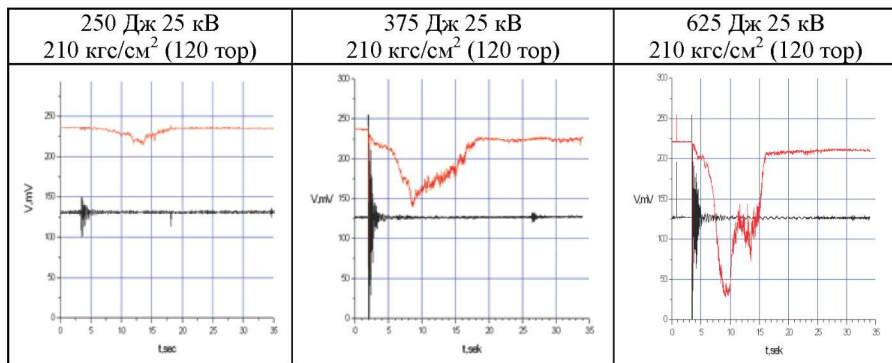


Рисунок 6

На рис. 5 представлена зависимость газовыделения измеряемого в относительных единицах от числа импульсов для трех температур 1 – 3°C , 2 – 15°C , 3 – 55°C . На графике показаны экспериментальные кривые и соответствующие им аппроксимационные кривые, на рисунке показаны пунктиром. Видно, что наибольшее удаление газа происходит за первые пять-шесть импуль-

сов, затем содержание газа в жидкости стабилизируется и колеблется возле некоторого среднего значения, характерного для каждой определенной температуры.

На рис. 6 отображены кривые прозрачности первых импульсов, для различных уровней энергии, вводимых в разряд.

Определив площади кривых прозрачности взятых из рис. 7 для различных уровней энергии, можно сделать вывод о том, что с ростом вводимой энергии, количество выведенного газа стремится к насыщению см. рис. 7.

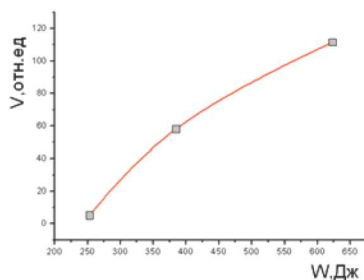
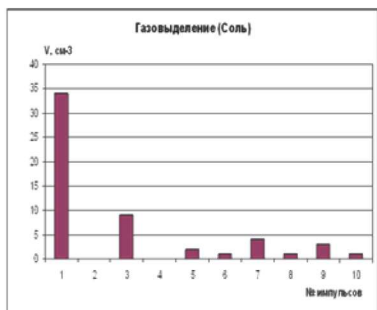
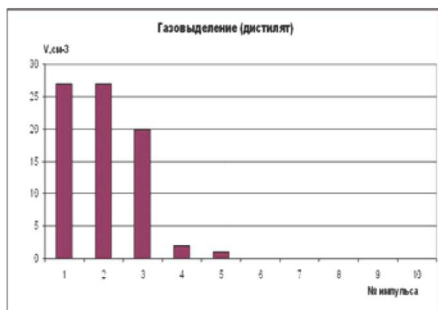


Рисунок 7

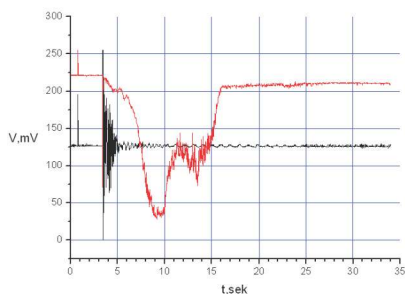


а

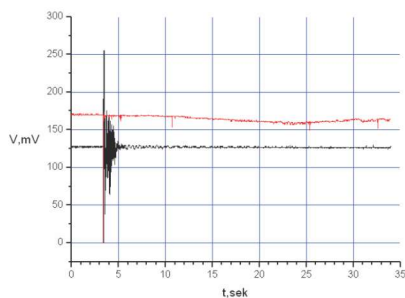


б

Рисунок 8



а



б

Рисунок 9

Газовыделение в зависимости от числа импульсов для жидкостей с различной концентрацией примесей, (в качестве примеси использовался NaCl) показано на рис. 9. Эксперименты проводились с жидкостями разной степени минерализации, дистиллированной водой и водой с увеличенной концентрацией соли. Известно, что при повышении минерализации воды растворимость газа падает. Так, при 0°C растворимость кислорода в 1 л воды с минерализацией менее 1 г/л составляет 49 мл, а при минерализации 30 г/л — только 15, то есть в три раза меньше [10]. Как видно из рис. 8, в солевом растворе с концентрацией соли 30 г/л не удавалось полностью вывести газ. В дистиллированной газ выводился за 6 импульсов, см. рис. 9. а — первый импульс, б — шестой импульс.

Выводы. Можно сделать вывод о том, что системы на основе миллисекундного и микросекундного обеспечивают дэаэрацию жидкостей. Количество импульсов за которое жидкости обезгаживались находятся в пределах статистического разброса в обоих случаях. Однако обезгаживание при использовании миллисекундного источника достигается на уровнях энергии 100 Дж/имп, тогда как такой же уровень обезгаживания для микросекундного источника связан с уровнями энергии превышающими 300 Дж/имп. Были получены зависимости газовыделения в жидкости от температуры, энерговклада и концентрации солей. Анализ предыдущих работ [5-9], в совокупности с полученными здесь данными позволяет говорить о том, что ЭГИ выводит газы из жидкостей, как и источники, работающие в миллисекундных диапазонах.

Список литературы: 1. В.Б. Юферов, Ю.В. Холод, Н.А. Косик, В.Ф. Малец, Е.В. Муфель, А.Н. Озеров Газоструйный импульсный источник // ВАНТ серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (82). — № 6. — 2002. — С. 156-159. 2. Л.А. Юткин Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. — Л.: Машиностроение, 1986. — 253 с. 3. В.Б. Юферов, Ю.В. Холод, Н.А. Косик, Е.В. Муфель, В.Ф. Малец Очистка кварцевого песка от примесей в акустических полях // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Проблемы усовершенствования электрических машин и аппаратов. Теория и практика. — Харьков, 2001. — № 16. — С. 174-175. 4. Белый И.В., Фертик С.Н., Хименко Л.Т. Справочник по магнито-импульсной обработке металлов. — Харьков: Из-во при Хар. гос. объед. «Вища школа», 1977. 5. В.Б. Юферов, Ю.В. Холод, А.Н. Рыбалко, Е.В. Муфель, В.Ф. Малец, А.Н. Озеров, В.П. Слюсарь О возможности вывода солей из растворов под воздействием акустических волн // ВАНТ Сер.: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (82). — 2002. — № 6. — С. 149-151. 6. В.Б. Юферов, Ю.В. Холод, Е.В. Муфель, В.М. Шулаев Дегазация закаленно-охлаждающих водоподобных сред звуковыми импульсами // ОТТОМ-2, Сборник докладов. Сентябрь 10-14. — 2001. — Ч. 1. — С. 126-129. 7. В.Б. Юферов, А.Н. Пономарев, Е.В. Муфель, А.Н. Озеров, И.В. Буравиков, В.Н. Ищенко О динамике очистки жидкости акустическими импульсами // ВАНТ. — 2007. — № 4. — С. 171-172. 8. В.Б. Юферов, И.В. Буравиков, А.Н. Пономарев, Е.В. Муфель, В.Н. Ищенко, А.Н. Озеров О выведении примесей из воды с помощью акустических импульсов // Журнал технической физики. — 2009. — Т. 79, вып. 5. — С. 124-128. 9. В.Б. Юферов, Д.В. Винников, А.Н. Пономарев, И.В. Буравиков, Е.В. Муфель Сравнительный анализ акустических импульсов от излучателей от излучателей милли- и микросекундного диапазонов // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск: Техника и электрофизика высоких напряжений. — Харьков, 2009. — № 11. — С. 185-189. 10. http://www.o8ode.ru/article/answer/voda_bez_vozduha_gazov.htm

Поступила в редакцию 05.04.2011